



CrossMark

B. Heimkes^{1,2}

¹ Klinik für Kinderchirurgie, Sektion Kinderorthopädie, Klinikum Dritter Orden, München-Nymphenburg, München, Deutschland

² Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation, Ludwig-Maximilians-Universität, Campus Großhadern, München, Deutschland

Die großen Apophysen

Funktionelle Beanspruchung und Bedeutung

Video online

Dieser Beitrag enthält drei Videos, die die Belastung des Trochanter major im Gangzyklus mittels inverser Dynamik dreidimensional fortlaufend darstellen. Dieses Supplementary Material finden Sie unter [10.1007/s00132-016-3222-4](https://doi.org/10.1007/s00132-016-3222-4)

Die Epiphysenfugen sind der Motor des Längenwachstums, während Apophysen bzw. Apophysenfugen hierzu nichts oder vernachlässigbar wenig beitragen. Da nun aber am Bein jedem großen Gelenk großvolumige Apophysen und großflächige „Apophysenfugen“ zugeordnet sind, stellt sich die Frage, welche Funktion den Apophysen im Laufe der Evolutionsgeschichte und am ausgereiften Skelett des modernen Menschen zukommt.

Die Apophyse des Trochanter major

Ein auf Anderson et al. [1] zurückgehendes, zeitlos gültiges und alltagstaugliches Verteilungsschema des Skelettwachstums quantifiziert, welchen Anteil die verschiedenen Knorpelfugen des Femur und der Tibia am gesamten Längenwachstum des Beines haben. Da das koxale Femurende sowohl in der Evolutionsbiologie [15, 30, 31] wie auch in der historischen Biomechanik [12, 17, 22] als auch in der modernen Mechanobiologie [2, 3, 7, 16, 25, 28] der meistbeachtete Abschnitt eines Röhrenknochens ist, sei als erstes und am ausführlichsten das

Zusammenspiel der dort befindlichen Knorpelfugen beschrieben. Aus der Anthropologie ist bekannt, dass der reife aufrechte Gang unter anderem mit einer zunehmenden, ökonomisch vorteilhaften Spurverschmälerung einherging. Im Laufe der Evolution rückte das Femur immer mehr zum Körperschwerelot, was zum einen dadurch möglich wurde, dass sich am Kniegelenk ein vordem nicht existenter Valguswinkel ausbildete [30, 31]. Zudem entwickelte sich, relativ spät in der Entwicklungsgeschichte,

beim *Homo ergaster* (z. B. Skelettfund „Turkana Boy“, ca. 1,6 Mio. Jahre alt), aus der Apophyse des Trochanter major kommend, außenseitig am koxalen Femurende der sog. lateral flare (Abb. 1a), der sich bei frühen Aufrechtgehern wie z. B. dem *Australopithecus afarensis* (Skelettfund „Lucy“, ca. 3,2 Mio. Jahre alt) noch nicht findet. Diese neu erworbene deutliche Ausbuchtung des kranialen Femurschaftes garantierte, dass trotz herangerücktem Femur der Ansatz der Hüftäquilibratoren nach außen verla-

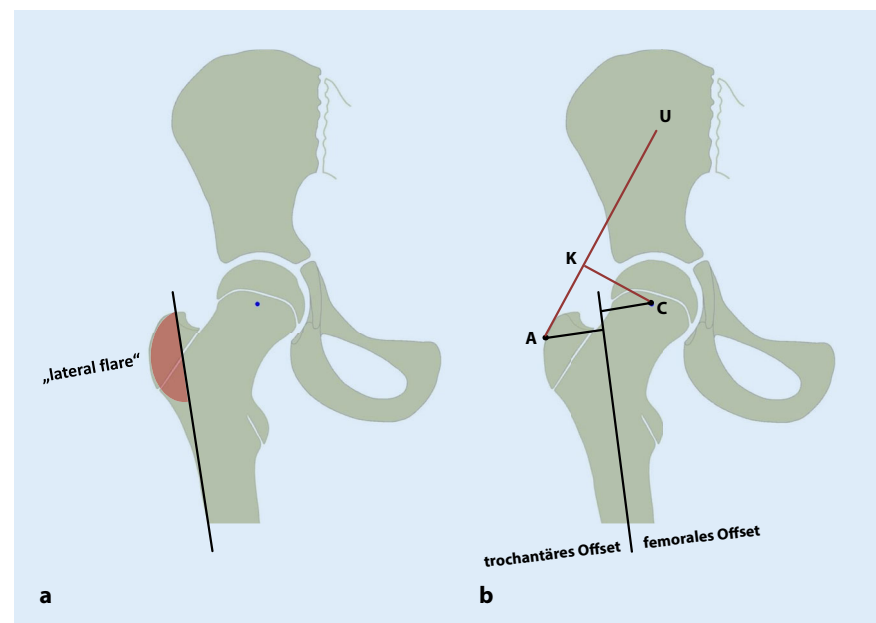


Abb. 1 ▲ **a** Im Laufe der Evolution entwickelte sich, von der Apophyse des Trochanter major ausgehend, eine Ausbuchtung des Femur nach lateral, der sog. lateral flare. **b** Die funktionelle Kraftarmlänge KC der Hüfte kann mithilfe des femoralen Offsets, des von der Apophyse des Trochanter major herstammenden trochantären Offsets und des Verlaufs der Hüftabduktoren AU konstruiert werden. (U virtueller Ursprung der Abduktoren, A virtueller Ansatz der Abduktoren, C idealisierter Drehpunkt des Hüftgelenks)

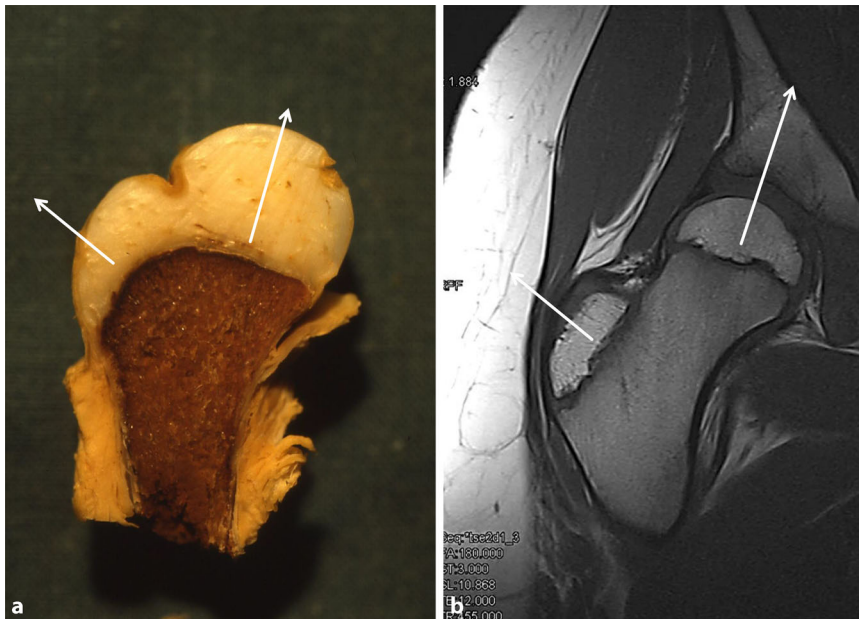


Abb. 2 ▲ a Koxales Femurende des Säuglings. Die Hüftkopfepiphyse und die Apophyse des Trochanter major bilden eine chondrogene Einheit, die der Femurmetaphyse aufsitzt. Noch ungerichtete Strampelbewegungen gestalten die Knorpelknochengrenze konvex. b Koxales Femurende, im MRT einer 9-Jährigen. Der konstante aufrechte Gang hat die Wachstumsfugen cum grano salis im rechten Winkel zu beanspruchenden Kraftresultierenden ausgerichtet. Das Wachstum der Epiphysenfuge überflügelt dasjenige der Apophysenfuge, es ist ein langer Schenkelhals entstanden. Der Trochanter major ist normal groß, hinkt jedoch im Verknöchern der Hüftkopfepiphyse noch etwas nach

gert blieb; somit war der Kraftarm des Hüftgelenkes und die Äquilibration des Beckens beim Gehen erhalten (Abb. 1; [14]).

Betrachtet man das koxale Femurende des Neugeborenen, so fällt auf, dass die Hüftkopfepiphyse und die Apophyse des Trochanter major anfänglich eine chondrogene Einheit bilden, die sich mit einer gemeinsamen konvex gekrümmten Wachstumszone gegenüber der Femurmetaphyse absetzt [20]. Noch vor Laufbeginn sind zwei Wachstumspole zu erkennen, die sich im Weiteren in ihrer Wachstumsrichtung gabeln: Der epiphysäre Anteil der Wachstumsfuge orientiert sich nach kranial und schiebt die im Zentrum zunehmend verknöchernde Epiphyse vor sich her. Der apophysäre Anteil der Wachstumsfuge und die aufsitzende Apophyse des Trochanter major richten sich nach kranialateral aus (Abb. 2a). Zwischen beiden Polen senkt sich ein Schenkelhalsisthmus ein, der bis zum 12. Lebensjahr knorpelig bedeckt bleibt. Somit ist der Schenkelhals der einzige Skelettabschnitt, der nicht nur sein Längswachstum, sondern auch sein Brei-

tenwachstum einer enchondralen Ossifikation verdankt.

Ende des letzten Jahrhunderts tauchten zunehmend Arbeiten auf, die beschrieben, welche Funktion den einzelnen Wachstumsfugen des koxalen Femurendes zukommt. Insbesondere Taussig et al. [32] im französischen Sprachraum und Siffert [27] im angloamerikanischen Sprachraum stellten heraus, dass sich die Fugen des koxalen Femur arbeitsteilig verhalten. Die Epiphysenfuge des Hüftkopfes lässt den Schenkelhals und damit auch das Femur und das Bein in die Länge wachsen (Abb. 2b), die Fuge der Trochanter-major-Apophyse regelt den CCD (Centrum-Collum-Diaphysen)-Winkel und damit den Gelenkzusammenhalt der Hüfte.

Im Jahre 1993 gelang es erstmals, mittels muskelmechanischer Untersuchungen und biomechanischer Modellrechnung die Kräfte zu bestimmen, die das Wachstum des koxalen Femurendes steuern [9]. Es konnte gezeigt werden, dass der M. vastus lateralis von der Apophyse des Trochanter major entspringt und mit den gegenziehenden kleinen Glutäen eine Muskelschlinge bildet, die

Avulsionsverletzungen der Trochanterapophyse zur Seltenheit werden lässt [29]. Mit den additiv wirksamen Traktusspannern wird der Trochanter major im Einbeinstand und im Gehen von kraniallateral nach kaudalmedial druckbeansprucht, wobei die errechnete Trochanterresultierende R_t immerhin 60 % der Werte der Hüftgelenksresultierenden R_h aufbringt (Abb. 3a, b). Die Trochanterresultierende ist für das Entstehen des trochantären Offsets verantwortlich, das entsprechend der Abb. 1b immerhin ca. 40 % zu der koxalen Kraftarmlänge beiträgt. Zusätzlich zur zweidimensionalen Berechnung ist es inzwischen möglich, die Belastung des Trochanter major im Gangzyklus mittels inverser Dynamik dreidimensional fortlaufend darzustellen (siehe Video 1–3).

Im Folgenden war es möglich, die Pathogenese klinisch wichtiger Wachstumsstörungen zu erklären, die durch Fehlfunktionen an der Trochanterapophyse verursacht oder wesentlich verstärkt werden.

Grundlegend fiel auf, dass langjährig vernachlässigte, primär gesunde Hüftgelenke eine ausgeprägte Coxa valga und auch eine – wenn auch mäßige – Hüftdezentrierung entwickeln. In einer ganganalytischen Studie konnte nachgewiesen werden, dass hierfür vor allem ein sich entwickelndes Duchenne-Hinken verantwortlich ist, das den Wachstumsdruck auf die Trochanterapophyse mindert [23].

Auch die neurogene Hüftdezentrierung, z. B. im Rahmen einer Zerebralparese, beginnt damit, dass die paretisch schwache Muskulatur die Trochanterapophyse zu wenig stimuliert. Die entstehende Coxa valga stellt die Abduktoren steil und beraubt sie damit ihrer hüftzentrierenden Kraft (Abb. 4a, b). Es reicht dann ein Zusatzimpuls, z. B. in Form einer Adduktionsstellung des Beines, aus, um die Hüfte zunehmend zu dezentrieren [10].

Eine Hirtenstab-Coxa vara ist immer dann zu erwarten, wenn eine geschädigte Epiphysenfuge den Schenkelhals verkürzt (Abb. 5a, b). Dann sind die Hüftabduktoren mehr in die Waagerechte verkippt und geschwächt, die Trochanterresultierende neigt sich zur Senkrech-

ten und verursacht ein vertikales Überwachstum des Trochanter major [8].

Die Apophyse des Trochanter major wurde vom amerikanischen Kinderorthopäden Drennan als „Wachhund des Schenkelhalswachstums“ bezeichnet [6], tatsächlich reguliert sie Form und Funktion des gesamten Hüftgelenks mehr als dies anfänglich zu vermuten war.

Die Tibiaapophyse

Die in der deskriptiven Anatomie wenig beachtete und in der funktionellen Anatomie noch nicht beforschte Tibiaapophyse [26] ist streng genommen keine klassische Apophyse, da sie während des gesamten Wachstums mit der proximalen Tibiaepiphyse im Verbund bleibt, ohne sich in irgendeiner Weise von dieser abzugliedern. Allerdings verdankt sie ihre Form und Struktur – wie andere Apophysen auch – sehnigen Krafteinflüssen. Analysiert man hierbei den tibialen Ansatz des Ligamentum patellae genau, dann ist zu erkennen, dass er großteils die Tibiaapophyse überwölbt und dann erst in das Periost der Tibiametaphyse einstrahlt, während ein dünnerer Anteil chondral an der Apophyse angeheftet ist [11]. Wie in **Abb. 6** zu sehen, kann dieser apophysäre Anteil sogar isoliert abreißen, ohne dass die Kontinuität der Patellarsehne leidet.

Da das Kniegelenk beim Gehen überwiegend gebeugt belastet wird, kann angenommen werden, dass hierbei das gestraffte Ligamentum patellae die Tibiaapophyse in ventrodorsaler Richtung druckbeansprucht. Nur so lässt sich erklären, warum sich die apophysäre Wachstumsfuge, die sich wie alle Knorpelfugen waagrecht zu beanspruchenden Kräften einstellt, so stark in die Vertikale krümmt.

Es bleibt zu überlegen, ob der Tibiaapophyse im Wachstum eine ähnliche steuernde Funktion zukommt, wie der Apophyse des Trochanter major. Entsprechend ihrer sagittalen Ausrichtung kann sie allenfalls die Neigung des Tibiaplateaus, den tibialen Slope, beeinflussen. Dieser ist im Normalfall gegenüber der Tibiaschaftachse retrovertiert, wobei ein Durchschnittswert von 10° mit großer Varianz angegeben wurde, der nicht mehr

Orthopäde 2016 · 45:206–212 DOI 10.1007/s00132-016-3222-4
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

B. Heimkes

Die großen Apophysen. Funktionelle Beanspruchung und Bedeutung

Zusammenfassung

Hintergrund. Apophysen und Apophysenfugen unterscheiden sich in ihrem Aufbau nicht wesentlich von Epiphysen und Epiphysenfugen, im Gegensatz zu diesen tragen sie jedoch nicht zum Längenwachstum der Extremitäten bei. Sie sind den jeweiligen benachbarten Gelenken zugeordnet. Das apophysäre Wachstum bestimmt hierbei Hebellängen und beeinflusst die Gelenkform und -struktur. Der formative Reiz hierzu geht von Muskeln aus, die sehnig an den Apophysen inserieren oder diese überwölben.

Apophyse des Trochanter major. Die Apophyse des Trochanter major trägt wesentlich zur Kraftarmlänge des Hüftgelenkes bei. Ihre Wachstumsleistung bestimmt, ob sich der Schenkelhals valgisch oder varisch entwickelt, letztendlich hängt davon auch ab, ob eine Hüfte dezentriert oder nicht.

Tibiaapophyse. Die Tibiaapophyse gibt vor, wie stark das Tibiaplateau nach ventral

oder dorsal geneigt ist (tibialer Slope) und beeinflusst somit die sagittale Stabilität des Kniegelenkes. Ist sie verletzt, dann entwickelt sich ein schwierig zu behandelndes Genu recurvatum.

Calcaneusapophyse. Die Calcaneusapophyse gibt die Länge und Stellung des Fersenbeines vor und trägt hiermit entscheidend zum Drehmoment des oberen Sprunggelenkes bei.

Zusammenfassung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Apophysen als Stellschrauben angesehen werden können, welche das Wachstum, die Form und Struktur ihrer benachbarten Gelenke lenken.

Schlüsselwörter

Apophyse · Fersenbein · Hüftgelenk · Kniegelenk · apophysäre Wachstumsfuge

The great apophyses. Functional strain and relevance

Abstract

Background. The structure of apophyses and apophyseal growth plates is not substantially different from those of epiphyses and epiphyseal growth plates. In contrast to epiphyseal growth plates, apophyses and apophyseal growth plates do not contribute to the longitudinal growth of the extremity. They are associated with their adjacent joints, triggering the lengths of their lever arms and influencing their external shape and internal architecture. The formative stimulus on apophyses is given by muscles and tendons inserting at the apophysis or canoping the apophysis.

Apophysis of the greater trochanter.

The apophysis of the greater trochanter significantly contributes to the lever arm length of the hip joint. Its growth activity triggers the neck-shaft angle and finally the centration of the hip joint.

Tibial apophysis. The tibial apophysis interacts with the slope of the proximal tibia and hereby influences the sagittal stability of the knee joint. A damage to the growth plate of the tibial tubercle leads to an anteverted tibial slope and a genu recurvatum difficult to treat.

Calcaneal apophysis. The calcaneal apophysis determines the length and position of the calcaneus and herewith influences the torque of the ankle joint.

Summary. In a nutshell you may regard the apophyses as adjusting screws acting on their adjacent joints and influencing their growth, form and structure.

Keywords

Apophysis · Apophyseal growth plate · Heel bone · Hip joint · Knee joint

als 5° über- oder unterschritten werden sollte ([4]; **Abb. 7**). Es fällt nun als erstes auf, dass alle Ereignisse, welche die Apophyse schädigen, z. B. Traumen, apometaphysäre Osteomyelitiden, vorzeitige Tuberositasversetzungen, unbedachte Drahtextensionen, lokale Radiothera-

prien oder selten auch einmal ein Morbus Schlatter, zu einem negativen Slope und damit zu einem schwierig zu behandelnden Genu recurvatum [5] führen (**Abb. 7b**). Des Weiteren ist bekannt, dass konstitutionell bindegeweblaxe Kinder und Jugendliche dazu nei-

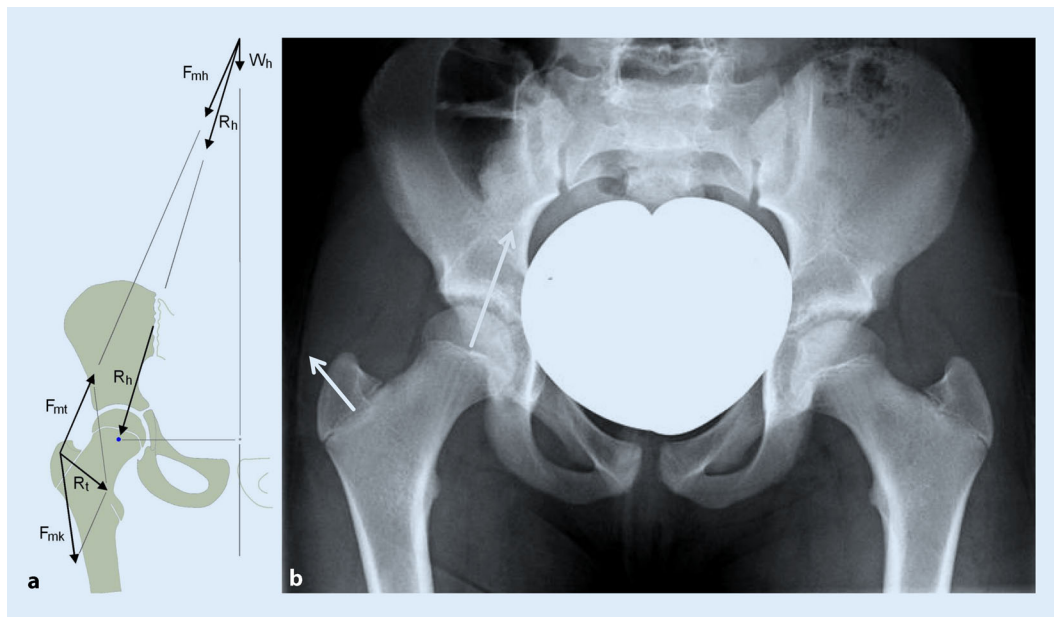


Abb. 3 ◀ a Die Apophyse des Trochanter major wird in der Standbeinphase des Gehens durch eine Trochanterresultierende R_t druckbeansprucht (F_{mt} Abduktorenmuskulatur, F_{mk} Kniestreckmuskulatur, insbesondere M. vastus lateralis + Tractus iliotibialis, R_h Hüftresultierende, $F_{mh} = F_{mt}$ Abduktorenmuskulatur, R_h Hüftresultierende, W_h auf die Hüfte wirkendes Körperteilgewicht). (Aus [28], mit freundl. Genehmigung S. Karger AG, Basel, Schweiz). b Die Hüftkopfepiphyse und Trochanterapophyse wachsen ihren Resultierenden im rechten Winkel entgegen

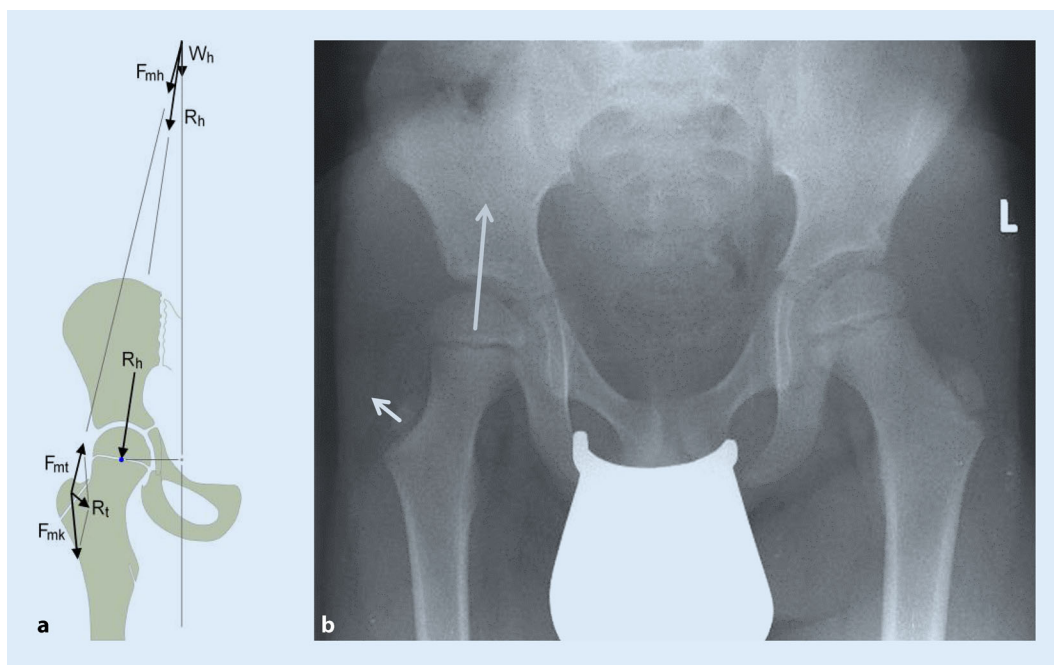


Abb. 4 ◀ a Bei globaler muskulärer Inaktivität wird die Trochanterapophyse zu wenig stimuliert (F_{mt} Abduktorenmuskulatur, F_{mk} Kniestreckmuskulatur, insbesondere M. vastus lateralis + Tractus iliotibialis, R_h Hüftresultierende, $F_{mh} = F_{mt}$ Abduktorenmuskulatur, R_h Hüftresultierende, R_t Trochanterresultierende, W_h auf die Hüfte wirkendes Körperteilgewicht). b Es entwickelt sich eine Inaktivitäts-Coxa-valga mit vertikal wachsendem Schenkelhals („Schenkelhalsrakete“, aus [10])

gen, in Rekurvation zu stehen und zu gehen. Dies entspannt den Kniestreckapparat und erklärt somit, warum bei dieser Bevölkerungsgruppe ein tendenziell verminderter Slope beobachtet wird.

Zusammenfassend kann also postuliert werden, dass die Tibiaapophyse nicht zug-, sondern druck- und scherbeansprucht wird. Ihr kommt im Wachstum eine steuernde Funktion zu. Sie entscheidet über den Slope des Tibiaplateaus und gibt damit vor, wie stabil sich das Kniegelenk in der Sagittalebene verhält.

Die Calcaneusapophyse

Erst in jüngerer Zeit sind Arbeiten erschienen, die sich mit der Wachstumsdynamik der Fersenbeinapophyse beschäftigen. Sie zeigen auf, dass der Calcaneus ähnlich in die Länge wächst, wie dies an langen Röhrenknochen zu beobachten ist [21], und ähnlich in Stadien verknöchert wie der Beckenkamm ([19]; ▣ Abb. 8).

Betrachtet man Lage, Form und Struktur der Fersenbeinapophyse, so kann man erkennen, dass sich diese leicht konvex

gekrümmt entlang der Achse des Tuber calcanei vorschiebt und metaphysenseits starke, quer verlaufende Rillen aufweist. Die Rillen, die sich in der Seitprojektion girlandenförmig darstellen, lassen darauf schließen, dass an der Calcaneusapophyse mehr als an anderen Apophysen überlagernde Scherkräfte wirken, wie dies für Wachstumsfugen allgemein beschrieben wurde ([18]; ▣ Abb. 8). Die Wachstumsrichtung der Ferse nach dorsokaudal ist erklärbar, wenn man die beim Gehen aktiv wirksamen Kräfte der Achillesseh-

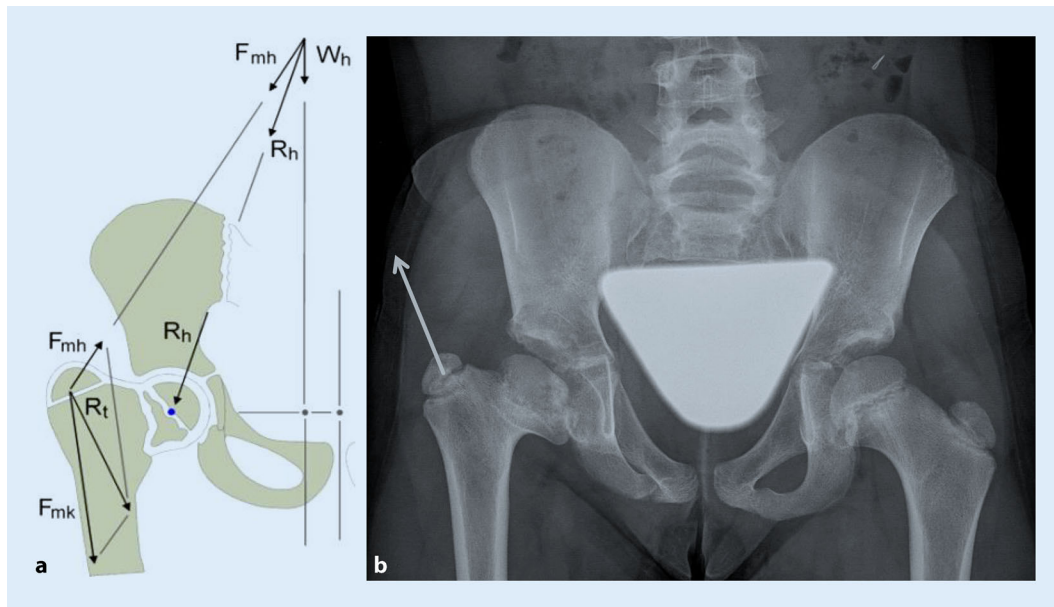


Abb. 5a, b ◀ Bei geschädigter Epiphysenfuge verkürzt sich der Schenkelhals, die konsekutiv flacher eingestellten und geschwächten Abduktoren verkippen den Trochanter major in eine vertikale Wachstumsrichtung („Trochanterrakte“, aus [8]). (F_{mk} Kniestreckmuskulatur, insbesondere M. vastus lateralis + Tractus iliotalialis, R_h Hüftresultierende, F_{mh} Abduktoren-muskulatur, R_t Trochanterresultierende, W_h auf die Hüfte wirkendes Körper-teilgewicht)



Abb. 6 ▲ 15-jähriger Junge ohne Vorerkrankung: Teilabriss des Lig. patellae beim Fußballspiel. Die chondrale Anheftung ist ausgerissen, der periostale Ansatz erhalten

ne und die dabei gegenziehenden passiven Kräfte des plantaren Bandapparates miteinander verrechnet ([13]; ▣ Abb. 9). Der Fuß kann hierbei – ähnlich dem Hüftgelenk – als zweiarmliger Hebel angesehen werden, dessen Kraftarm vom Drehpunkt des oberen Sprunggelenks im Corpus tali bis zum Ansatz der Achillessehne reicht, und dessen Lastarm sich in der – von starker Beanspruchung gekennzeichneten – terminalen Standbeinphase des Gehens bis maximal zum Metatarsalköpfchen I schiebt. Da sich das Drehmoment des Kraftarms aus der Multipli-



Abb. 7 ▲ 13-jähriges Mädchen nach Apophysenauriss rechts im Alter von 11 Jahren. **a** Linkes, unverletztes Knie: Das Tibiaplateau ist um 7° nach dorsal geneigt (normaler Slope). **b** Rechtes Knie, verblockte Apophyse: Das Tibiaplateau ist um 18° nach ventral geneigt (negativer Slope). Im klinischen Befund zeigt sich ein ausgeprägtes Genu recurvatum

kation der Hebelarmlänge und der Kraft der zugehörig wirksamen Muskulatur zusammensetzt, hilft eine lange Ferse Kraft zu sparen. Tatsächlich hat Schultz [24] in einer anthropologischen Studie nachweisen können, dass der humane Fuß gegenüber demjenigen von Menschenaffen

relativ längere Fersen und damit günstigere Rückfußhebel aufweist. Der humane Kraftarm beträgt annähernd 40 % der Lastarmlänge, derjenige von Menschenaffen nur ca. 20–30 % des Vorfußhebels.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass das Wachstum der Cal-

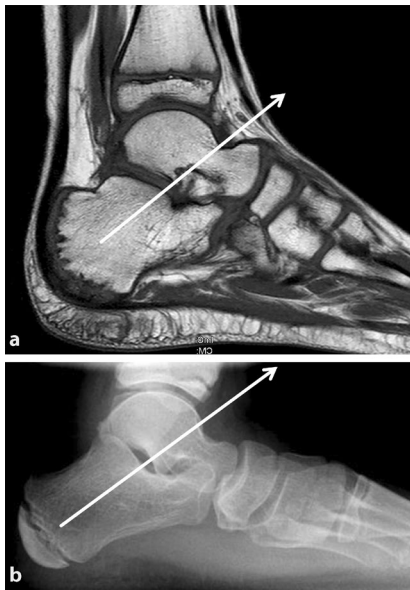


Abb. 8 ▲ a) MRT-Befund eines gesunden, körperlich hochaktiven 11-jährigen Jungen. Die Ferse wächst der mit Pfeil bezeichneten Druckspannung entgegen. Als Zeichen hoher überlagernder Scherspannungen [18] ist die Metaphyse stark geriffelt. b) Röntgenbefund eines gesunden 12-jährigen Jungen. Die knöcherne Apophyse hat ihre annähernde Endgröße erreicht, verschmilzt jedoch noch nicht mit dem Fersenbein (Stadium 3 nach Nicholson et al. [19])

canusapophyse die Länge und Stellung der Ferse vorgibt und damit das Drehmoment des Rückfußhebels beeinflusst. Dementsprechend kommt auch dieser dritten großen Apophyse des Skelettsystems die Rolle zu, auf das benachbarte Gelenk zu wirken.

Fazit für die Praxis

Wenn die großen Apophysen des Beines zu wenig beansprucht, fehlbeansprucht oder geschädigt werden, muss man nicht befürchten, dass sich dies auf das Längenwachstum des Beines auswirkt. Es besteht jedoch die Gefahr, dass sich die Hebelarmverhältnisse und die Gelenkgeometrie der zugeordneten benachbarten Gelenke so stark verändern, dass das Gelenk nicht mehr funktionsfähig bleibt. So kann sich am Hüftgelenk eine zunehmende Dezentrierung entwickeln, die rechtzeitig durch Beckenosteotomien und/oder Femurosteotomien verhinderbar ist. Das Kniegelenk tendiert zum starken Genu recurvatum, das dann einer anspruchsvollen

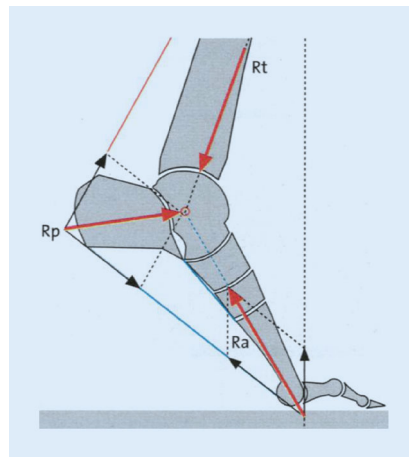


Abb. 9 ▲ Beanspruchung der Fersenbeinapophyse in der terminalen Standbeinphase des Gehens. Am oberen Sprunggelenk wirkt – analog zum Hüftgelenk – ein zweiarmliges Hebel, dessen Drehpunkt im Corpus tali gelegen ist. (Rp Rückfußresultierende, Ra Vorfußresultierende, Rt Unterschenkelresultierende). (Nach [13], mit freundl. Genehmigung Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln)

operativen Therapie mittels dorsaler Epiphyseodese oder ventral aufklappender Tibiakopfosteotomie bedarf. Ein im Wachstum steilgestellter Calcaneus führt zu einem funktionell äusserst ungünstigen Hackengang, sodass auch hier abflachende Rückfußarthrodesen erforderlich werden.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. B. Heimkes

Klinik für Kinderchirurgie,
Sektion Kinderorthopädie,
Klinikum Dritter Orden,
München-Nymphenburg
Menzinger Str. 48,
80638 München, Deutschland
bernhard.heimkes@med.uni-muenchen.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. B. Heimkes gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Anderson M, Messner MB, Green WT (1964) Distribution of lengths of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age. *J Bone Joint Surg Am* 46:1197–1202
2. Bonneau N, Baylac M, Gagey O, Tardieu C (2014) Functional integrative analysis of the human hip joint. The three-dimensional orientation of the acetabulum and its relation with the orientation of the femoral neck. *J Hum Evol* 69:55–69
3. Carriero A, Zavatsky A, Stebbins J, Theologis T, Lenaerts G, Jonkers I, Shefelbine SJ (2014) Influence of altered gait patterns on the hip joint contact forces. *Comput Methods Biomech Biomed Eng* 17(4):352–359
4. Dejour H, Bonnin M (1994) Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br* 76:745–749
5. Dejour H, Bonin M, Locatelli E (2000) Tibial antecurvature osteotomies. *Oper Techn Sports Med* 8:67–70
6. Drennan JC (1983) The hip in myelomeningocele. In: Katz JF, Siffert RS (Hrsg) *Management of hip disorders in children*. Lippincott, Philadelphia Toronto
7. Fetto JF, Bettinger K, Austin K (1995) Re-examination of hip biomechanics during unilateral stance. *Am J Orthop* 24(8):605–612
8. Günther CMJ, Komm M, Jansson V, Heimkes B (2013) Midterm results after subtrochanteric end-to-side valgization osteotomy in severe infantile coxa vara. *J Pediatr Orthop* 33(4):353–360
9. Heimkes B, Posel P, Plitz W, Jansson V (1993) Forces acting on the juvenile hip joint in the one-legged stance. *J Pediatr Orthop* 13:431–436
10. Heimkes B, Martignoni K, Utzschneider S, Stotz S (2011) Soft tissue release of the spastic hip by psoas-rectus transfer and adductor tenotomy for long-term functional improvement and prevention of hip dislocation. *J Pediatr Orthop B* 4:212–221
11. Knese KH (1979) Stützgewebe und Skelettsystem. In: *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen*, Bd. 2. Springer, Berlin, S 445–470 (Teil 5)
12. Koch JC (1917) The laws of bone architecture. *Am J Anat* 21:177–298
13. Kummer B (2005) Biomechanik. Form und Funktion des Bewegungsapparates. Deutscher Ärzteverlag, Köln
14. Lovejoy CO, Heiple KG, Burstein AH (1973) The gait of australopithecus. *Am J Phys Anthropol* 38:757–779
15. Lovejoy CO (2005) The natural history of human gait and posture. Part 2. Hip and thigh. *Gait Posture* 21:113–124
16. Machado MM, Fernandes PR, Zymbal V, Baptista F (2014) Human proximal femur bone adaptation to variations in hip geometry. *Bone* 67:193–199
17. Meyer H (1867) Die Architektur der Spongiosa. *Arch Anat Physiol Wiss Med* 34:615–628 (Reichert DuBois-Reymonds Arch)
18. Milz S, Soszczyk A, Putz R (2002) Entwicklung und funktionelle Struktur der Epiphysenfugen. *Orthopäde* 31:835–840
19. Nicholson AD, Liu RW, Sanders JO, Cooperman DR (2015) Relationship of calcaneal and iliac apophyseal ossification to peak height velocity timing in children. *J Bone Joint Surg Am* 97:147–154
20. Ogden JA (1976) Development Anatomy. In: Ferguson AB (Hrsg) *Orthopaedic Surgery in Infancy and Childhood*, 4. Aufl. Williams & Wilkins, Baltimore

21. Parikh SN, Weesner M, Welge J (2012) Postnatal growth of the calcaneus does not simulate growth of the foot. *J Pediatr Orthop* 32(1):93–99
22. Pauwels F (1935) Der Schenkelhalsbruch. Ein mechanisches Problem. *Beil Z Orthop Chir* 63:1–138
23. Sallam A, Ziegler CM, Jansson V, Heimkes B (2015) The underused hip in ipsilaterally orthotics-dependent children. *J Child Orthop* 9(4):255–262
24. Schultz AH (1963) The relative lengths of the foot skeleton and its main parts in primates. *Symp Zool Soc Lond* 10:199–206
25. Shefelbine SJ, Carter DR (2004) Mechanobiological predictions of femoral anteversion in cerebral palsy. *Ann Biomed Eng* 32(2):297–305
26. Shea KG, Apel PJ, Pfeiffer RP, Traughber PD (2007) The anatomy of the proximal tibia in pediatric and adolescent patients: implications for ACL reconstruction and prevention of physeal arrest. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15:320–327
27. Siffert RS (1981) Patterns of deformity of the developing hip. *Clin Orthop* 160:14–29
28. Skuban TP, Vogel T, Baur-Melnyk A, Jansson V, Heimkes B (2009) Function-orientated structural analysis of the proximal human femur. *Cells Tissues Organs* 190(5):247–255
29. Steinbrück A, Hocke S, Heimkes B (2011) Apophyseolysis of the greater trochanter through excessive sports. *Am J Sports Med* 39:195–198
30. Tardieu C (2010) Development of the human hind limb and its importance for the evolution of bipedalism. *Evol Anthropol* 19:174–186
31. Tardieu C (1999) Ontogeny and phylogeny of femoro-tibial characters in humans and hominid fossils: Functional influence and genetic determinism. *Am J Phys Anthropol* 110:365–377
32. Taussig G, Delor MH, Masse P (1976) Les altérations de la croissance de l'extrémité supérieure du fémur. Leur apport à la connaissance de la croissance normale. *Rev Chir Orthop* 62:191–210

Ihr Zugang zum Onlinearchiv

Im Volltextarchiv auf springermedizin.de stehen Ihnen alle elektronisch verfügbaren Ausgaben Ihrer Zeitschrift zur Verfügung – unabhängig davon, seit wann Sie die Zeitschrift abonniert haben. Die Beiträge sind als PDF-Datei im Layout der gedruckten Ausgabe und als HTML-Version verfügbar. In der HTML-Version ist die Literatur verlinkt, sodass Sie direkt zu den zitierten Quellen gelangen können.



Und so einfach geht es:

1. Einmalig registrieren:

Registrieren Sie sich auf www.springermedizin.de/der-orthopaede über den Menüpunkt Registrieren (siehe Abbildung oben). Geben Sie dabei Ihre Abonummer an und ggf. die Adresse, an die Ihre Zeitschrift geliefert wird, sowie Ihre EFN-Nummer.

finden Sie alle elektronisch verfügbaren Ausgaben der Zeitschrift, sortiert nach Jahrgang und Ausgabennummer. Die einzelnen Beiträge werden im Inhaltsverzeichnis unter Angabe von Rubrik, Titel und Autoren übersichtlich angezeigt. Die Reihenfolge entspricht der im gedruckten Heft. Mit einem Klick gelangen Sie direkt zum gewünschten Beitrag.

2. Log in:

Nach erfolgreicher Registrierung werden Ihnen Ihre Zugangsdaten per E-Mail zugeschickt.

Für alle Fragen zu Ihrem Onlinezugang steht Ihnen unser Kundenservice unter Kundenservice@springermedizin.de zur Verfügung. Telefonisch erreichen Sie die Hotline montags bis freitags von 9.00 bis 17.00 Uhr kostenfrei unter 0800-77 80 777 sowie gebührenpflichtig aus dem Ausland unter +49 30 884 293 600.

3. Ausgabenarchiv:

Im Ausgabenarchiv unter www.springermedizin.de/der-orthopaede